4H

УДК 004.93'1;004.932

А.М. Недзьведь, П.В. Лукашевич, Д.А. Гончаров
Объединенный институт проблем информатики НАН РБ, г. Минск, Беларусь
nedzveda@newman.bas-net.by, goncharovda@gmail.com

Восстановление формы объемных медицинских объектов с помощью дистанционных карт поперечных сечений*

Представлены новые методы для реконструкции трехмерной поверхности объекта из нескольких замкнутых, в общем случае неплоских кривых, включая контуры, которые были очерчены вручную. Для восстановления объектов разной формы используются двухмерные дистанционные карты.

Введение

Задача реконструкции трехмерной поверхности объекта хорошо известна в различных областях, особенно в медицине. Она используется при работе с изображениями магниторезонансной томографии (МРТ), компьютерной томографии (КТ), трехмерного ультразвукового исследования (3D УЗИ).

Задачи реконструкции можно разделить по уровню взаимодействия на автоматические, полуавтоматические и ручные. В общем случае задача может быть сформулирована как восстановление объекта из произвольного облака точек.

Но обычно работа осуществляется с двухмерными контурами, представляющими области интереса на сечениях медицинского изображения. Получение этих сечений может быть сложной проблемой, и оно может производиться вручную или автоматически. Например, оконтуривание органа на 3D УЗИ – очень сложная проблема, и эта задача обычно выполняется медицинским экспертом.

Существуют также некоторые особенности, связанные с размещениями контура в пространстве. Например, на МРТ и КТ контуры расположены в строго параллельных областях, а для некоторых типов УЗИ слои в зависимости от протокола сканирования находятся в произвольных плоскостях. В некоторых случаях настоятельно рекомендуется восстановить объект лишь по нескольким слоям, особенно в случае ручной обводки. Это избавит медицинских работников от рутинной работы выделения каждого слоя.

В последние годы предложено много методов реконструкции. Прежде всего, стоит упомянуть растровую реконструкцию объектов. Эти методы обсуждены в работах Г. Трис [1], [2]. Статьи описывают различные алгоритмы: для параллельных слоев [2] рассмотрены случаи объектов сложной формы.

Основная идея этой группы методов – особый подход для межслойной воксельной интерполяции, зависящей от взаимного расположения слоев, а также формы поперечного сечения.

Нужно отметить, что такие воксельные методы обычно медленны и неудобны для использования и визуализации. По этой причине разработано много методов для аппроксимации поверхностей объектов сплайнами и кривыми различных типов.

* Работы выполнялись в рамках проекта ISTC B-1486.

Например, можно восстановить векторную поверхность объекта неравномерными рациональными би-сплайнами [3], которые хорошо аппроксимируют обведенные контуры объекта. Но качество этого подхода сильно зависит от числа контуров. И невсегда возможно восстановить контуры объекта для всех слоев, особенно в случае ручной обводки.

В случае объектной реконструкции по нескольким контурам можно использовать один из методов на основе модельных представлений, которые работают лучше на определенных типах объектов. Один из таких подходов использует сплайны с одним параметром для реконструкции щитовидной железы на трехмерных УЗИ [4].

В другой работе [5] рассмотрена более общая проблема – реконструкции формы от произвольных поперечных сечений. Предложенный подход состоит из двух основных шагов: вычисление расположения секущих плоскостей и реконструкция, и аппроксимация объекта из его пересечений с границей ячейки. Возможная проблема ветвления решена использованием триангуляции Делоне. Этот метод довольно сложный, однако он может быть применен в приложениях реконструкции.

Например, чтобы восстановить простой медицинский трехмерный объект из непараллельных поперечных срезов Богуш и др. [6] используют двухмерный морфологический морфинг, аффинные преобразования и интерполяцию сплайнами третьего порядка.

Также существует большой класс методов для восстановления формы объекта из произвольного облака точек. Этот класс методов используется в различных задачах, таких, как дистанционное зондирование, стереоприложения и т.д. Но эти подходы также могут быть использованы в медицинских приложениях, особенно на входных данных высокого разрешения.

Большой подкласс таких методов – алгоритмы симплекс-сеток. В [7] представлены методы симплекс-сеток для восстановления трехмерных ультразвуковых изображений. Алгоритмы используют непараллельные сечения для симплексной адаптации сеток из вручную обведенных границ объекта на нескольких представителях. Подобный метод представлен в [8].

Также интересны следующие способы восстановления облака пикселей – алгоритм катящегося шара [9] и байесовская реконструкция поверхности [10]. Первый из них является своего рода морфологическим восстановлением на векторном пространстве. Второй – использование статистического метода для реконструкции и последующей фильтрации шумов на поверхности.

Постановка задачи. Наш метод используется для тех же задач и основывается на формировании промежуточных слоев на основе дистанционных преобразований. Он достаточно прост в реализации и понимании, и работает для сложных медицинских изображений.

Главное преимущество метода – возможность генерировать произвольное количество промежуточных слоев. Кроме того, предложен оригинальный подход к решению проблемы ветвления. В общем случае, алгоритм может работать на параллельных и непараллельных слоях.

Определение контуров объектов для промежуточных слоев

Построение промежуточных слоев может быть реализовано при помощи анализа свойств дистанционных карт [11-13]. Если число объектов начального слоя такое же, как и конечного, то построение промежуточного слоя довольно простое. Но в случае ветвления эти методы имеют ряд проблем.

Тем не менее, свойства дистанционных карт могут быть использованы для построения промежуточного слоя. Но в этом случае будут построены два промежуточных слоя. Рассмотрим случай, когда первый слой содержит один «корневой» контур, а второй слой – несколько контуров (рис. 1).

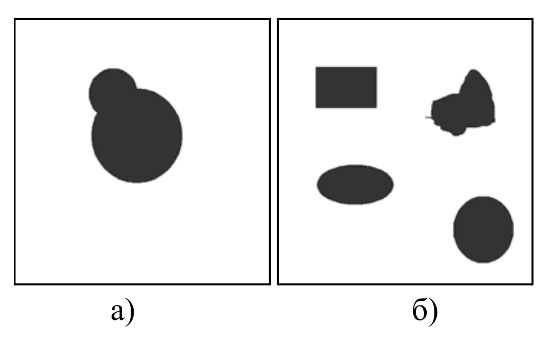

а) б)

Рисунок 1 – Последовательные бинарные слои: а) с одним целым объектом, б) с разделенными объектами

Необходимо использовать одинаковое количество контуров для начального и конечного слоя. Для решения этой проблемы используются алгоритмы построения выпуклой оболочки, однако все они работают только для связных объектов. Таким образом, необходимо соединить все объекты на слое. Объединение объектов реализовано через вычисление координат центра масс и проведения линий через них. Затем для всех объектов строится выпуклая оболочка (рис. 2).

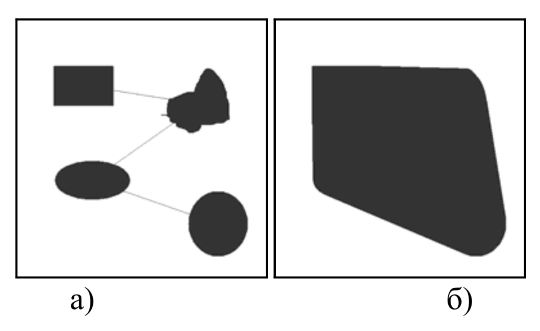

а) б)

Рисунок 2 – Объединение объектов: а) соединение центров масс, б) построение выпуклой оболочки

Область определения контура объекта для среднего слоя заключена между границей начального слоя и выпуклым контуром конечного слоя (рис. 3а). Эта область строится путем вычитания слоев. Этот контур находится из дистанционной карты (рис. 3б), по которой можно построить равноудаленный от границ замкнутый контур (рис. 3в).

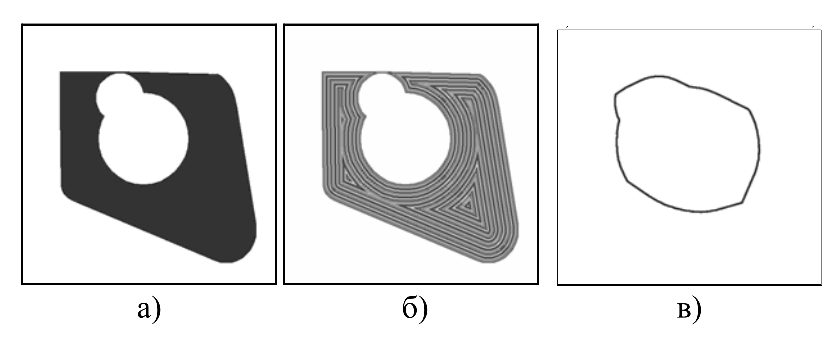
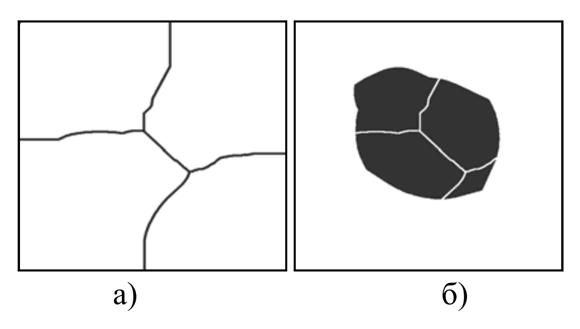

а) б) в)

Рисунок 3 – Определение контура первого промежуточного слоя: а) область для определения контура промежуточного слоя, б) его дистанционная карта и в) линия раздела

Следующая задача – разделить объект на среднем слое на несколько. При этом число объектов соответствует числу на конечном слое. Линии разделения должны быть проанализированы с позиций объектов на конечном слое. Лучшее решение,

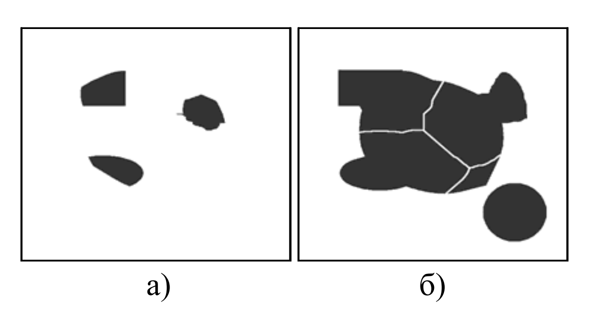
когда они используют линии водораздела между объектами конечного слоя (рис. 4а). Вычитание этого водораздела позволит построить второй промежуточный уровень (рис. 4б). Этот слой включает то же количество объектов, что и на конечном уровне.

Следующие шаги будут по определению слоев от начального до первого среднего слоя и от второго среднего слоя до конечных слоев. Обработка слоев идентична, но второй случай более сложный. Поэтому при следующем описании мы будем использовать только построение на этапе между вторым средним слоем и готовым слоем. Для этого этапа каждый слой содержит одинаковое количество контуров. Однако объекты имеют различный размер, положение и форму. Задача состоит в нахождении оптимальных контуров объектов для промежуточного слоя. Эти контуры соответствуют оптимальному расстоянию между первым и вторым слоями. Это легко определить, используя конъюнкцию и дизъюнкцию изображений слоев (рис. 5).



а) б)

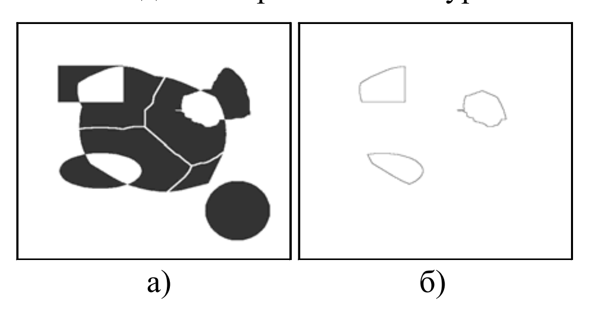
Рисунок 4 – а) линии водораздела для последнего слоя и б) объекты на втором промежуточном слое



а) б)

Рисунок 5 – Результат а) конъюнкции и б) дизъюнкции второго промежуточного и последнего слоев

Разница полученных результатов позволяет найти область определения контура (рис. 6а). Конъюнкция этого результата с контуром второго промежуточного слоя (рис. 6б) позволяет сохранить связность для построенных контуров.



а) б)

Рисунок 6 – а) область определения контура второго промежуточного и последнего слоев, б) контуры второго промежуточного слоя

Следующий алгоритм (рис. 7) позволяет определить объекты с контуром области и несвязанные объекты.

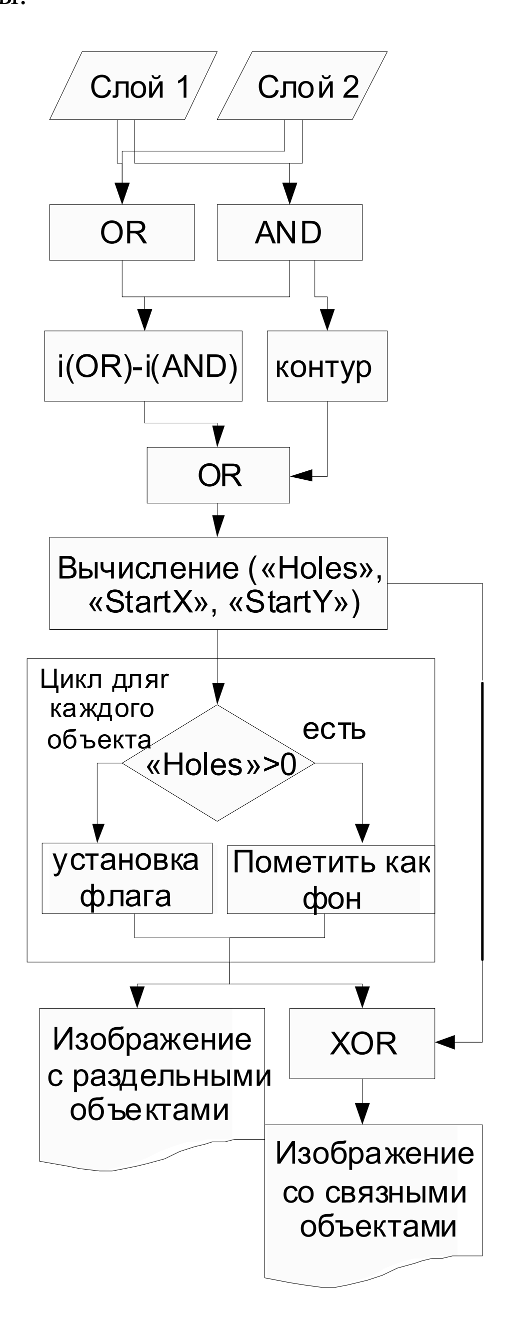


Рисунок 7 – Алгоритм классификации объектов для построения контура

Проблема заключается в определении областей при построении дистанционных карт в двухмерном пространстве. На изображении объединенных слоев возможно как связанные, так и разделенные объекты. Области определения контура строятся с помощью алгоритма, блок-схема которого представлена на рис. 8.

Для всех разделенных объектов анализируется расстояние между центрами масс. На основе этой информации формируются пары объектов. Для каждой пары строится выпуклая оболочка (рис. 9б), которая затем корректируется с помощью исходных данных предыдущего уровня (рис. 9в). Объединение исправленного выпуклого контура и объектов позволяют определить области для определения контуров.

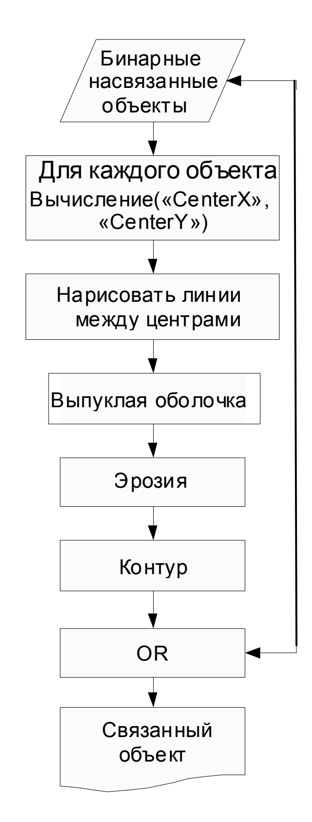


Рисунок 8 – Алгоритм построения области определения контуров

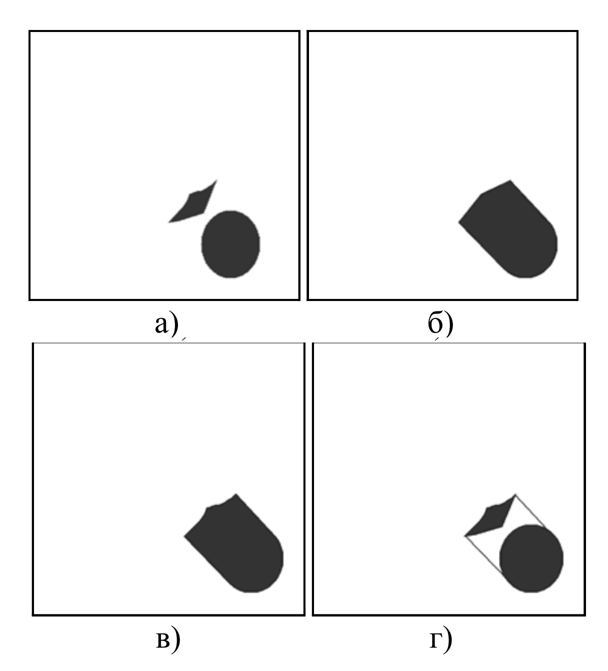
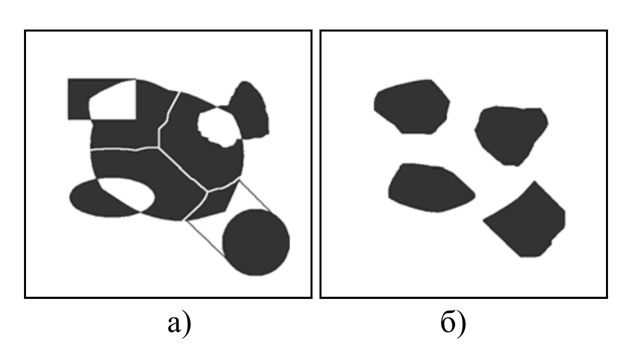


Рисунок 9 – Обработка разделенных объектов: а) разделенные объекты, б) выпуклая оболочка, в) коррекция границ, г) новый связанный объект

Дизъюнкция результатов обработки связанных и несвязанных объектов позволяет определить промежуточные контуры с помощью водораздела. Аналогично определяются контуры объектов для остальных промежуточных слоев. После создания набора промежуточных слоев возможно провести трехмерную реконструкцию с более высоким разрешением (рис. 10).



а) б)

Рисунок 10 – а) области определения контуров для промежуточного уровня, б) объекты промежуточного уровня

Результат работы алгоритма для входных данных на рис. 1 представлен на рис. 11.

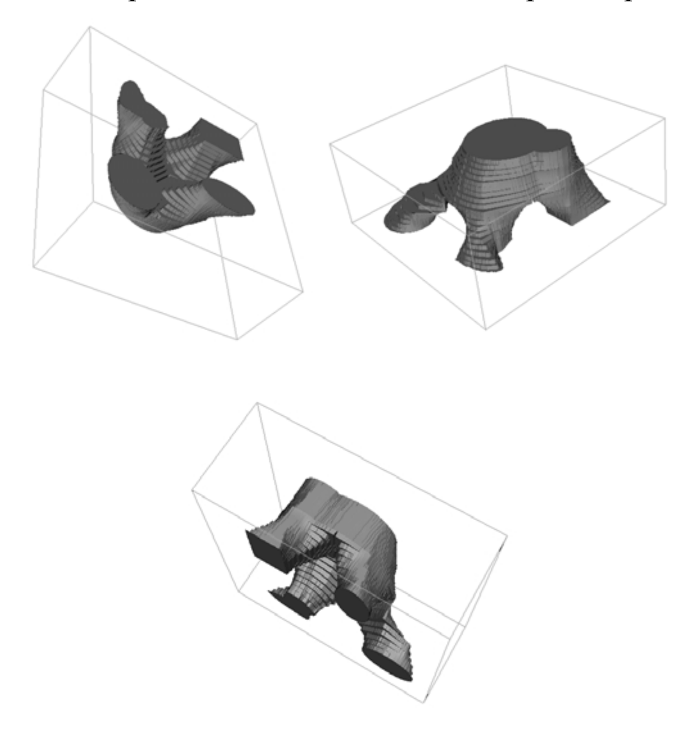


Рисунок 11 – Результат трехмерной реконструкции с помощью 20 промежуточных слоев

Заключение

Разработанный алгоритм позволяет получить качественный результат благодаря восстановлению промежуточных сечений. Использование связывания всех объектов на слое обеспечило стабильность работы алгоритма для объектов любой формы, а растровое представление данных исключило элементы скручивания поверхности. Использование дистанционной карты расстояний позволило быстро и эффективно определить реальный контур между слоями и сохранить значения всех исходных расстояний. Поэтому данный алгоритм наиболее эффективен для использования его в задачах, включающих измерения объектов.

Полученные результаты будут способствовать развитию диагностического программного обеспечения лучевых методов для правильного расчета данных по динамике регрессии опухолевых образований и размеров резидуальной опухоли, оптимизации принятия решения по вопросам лечения. Определение правильного пути лечения позволит

значительно снизить стоимость лекарств и лечебных процедур. Работа направлена на улучшение информационного содержания данных первичного диагноза, а также для обеспечения комфорта специалистам-медикам в ходе анализа результатов обследования.

Литература

1. Treece G. Volume Measurement and Surface Visualization in Sequential Freehand 3D Ultrasound / G. Treece // PhD thesis Univer. of Cambridge, Department of Engineering. – 2000. – 183 p.
2. Treece G. Fast surface and volume estimation from non-parallel cross-sections, for freehand 3-D ultrasound / G. Treece // Medical Image Analysis. – 1999. – № 3(2). – P. 141-173.
3. Anderson C. Fast Generation of NURBS Surfaces from Polygonal Mesh Models of Human Anatomy / C. Anderson, S. Crawford-Hines // Technical Report, Department of Computer Science, Colorado State University, Fort Collins. – February 9, 2000.
4. Lukashevich P. Reconstruction of 3D Surfaces by Spline Technique / P. Lukashevich, B. Zalesky // Proceedings of the 8-th International Conference «Pattern Recognition and Information Processing», (Minsk, May 18 – 20, 2005). – P. 351-354.
5. Boissonnat J. Shape reconstruction from unorganized cross-sections / J. Boissonnat, P. Memari // Proceedings of the Fifth Eurographics Symposium on Geometry Processing, (Barcelona, Spain, July 04 – 06, 2007). – P. 89-98.
6. Bogush A.L. 3D object reconstruction from non-parallel cross-sections / A.L. Bogush, A.V. Tuzikov, S.A. Sheynin // Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, (Cambridge, UK, 23 – 26 Aug, 2004). – Vol. 3. – P. 542-545.
7. Snezhko E.V. External Force Generation for Object Segmentation on 3D Ultrasound Images Using Simplex Meshes / E.V. Snezhko, A.V. Tuzikov // Proceedings of the Pattern Recognition and Image Analysis International Conference. – 2006. – Vol. 16. – P. 89-92.
8. Delingette H. General Object Reconstruction Based on Simplex Meshes / H. Delingette // Int. J. Comput. Vision. – Aug.1999. – № 32 (2). – P. 111-146.
9. Bernardini F. The Ball-Pivoting Algorithm for Surface Reconstruction / F. Bernardini // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. – Oct. 1999. – № 5(4). – P. 349-359.
10. Huang Q. Bayesian surface reconstruction via iterative scan alignment to an optimized prototype / Q. Huang, B. Adams, M. Wand // Proceedings of the Fifth Eurographics Symposium on Geometry Processing, (Barcelona, Spain, July 04 – 06, 2007). – P. 213-223.
11. Borgefors G. Distance Transformations in Arbitrary Dimensions / G. Borgefors // Computer Vision, Graphics, and Image Processing. – 1984. – Vol. 27. – P. 321-345.
12. Svensson S. Image and Vision Computing / S. Svensson, G. Sanniti di Baja. – June 2002. – Vol. 20 (8). – P. 529-540.
13. Carlo Arcelli. Finding Local Maxima in a Pseudo-Euclidean Distance Transform / Carlo Arcelli and Gabriella Sanniti di Baja // CVGIP. – 1988. – Vol. 43. – P. 361-367.

О.М. Нядзьведь, П.В. Лукашевіч, Д.А. Гончаров
Відновлення форми об'ємних медичних об'єктів за допомогою дистанційних карт поперечних перетинів
Представлені нові методи для реконструкції тривимірної поверхні об'єкту з декількох замкнутих, в загальному випадку неплоских кривих, включаючи контури, які були обкреслені уручну. Для відновлення об'єктів різної форми використовуються двомірні дистанційні карти.

A.M. Nedzved, P.V. Lukashevich, D.A. Hancharou
Reconstruction of Medical Object Shape By Distance Maps of Its Cross Sections
The new techniques is presented in order to reconstruct 3D object surface from several closed, in general, non-planar curves, including contours that were outlined manually. 2D distance map used to reconstruct object of a different shapes. Branching problem also discussed.

Статья поступила в редакцию 01.06.2010.